Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 4, Winter. 2019, p. 833-846

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۸۴۶-۸۳۳

تأثیر زمان کاربرد کلرید کلسیم بر کاهش اثرات منفی تنش گرما بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط اهواز

نفیسه اسدی نسب[۱]- مجید نبی پور[۲*]- حبیب اله روشنفکر[۳]- افراسیاب راهنما قهفرخی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم بر کاهش اثرات سوء تنش گرمای پایان فصل رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (رقم چمران) در اهواز، آزمایشی گلدانی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. نوع محلول به‌عنوان فاکتور اول شامل: ۱- محلول‌پاشی با آب مقطر، ۲- محلول‌پاشی با کلرید کلسیم (۱۰ میلی‌مولار) و زمان کاربرد به‌عنوان فاکتور دوم شامل: ۱- ۱۵ روز قبل از گلدهی، ۲- گلدهی، ۳- ۱۵ روز پس از گلدهی، ۴- ۱۵روز قبل از گلدهی و گلدهی، ۵- گلدهی و ۱۵ روز پس از گلدهی، ۶- ۱۵روز قبل از گلدهی و ۱۵روز پس از گلدهی و ۷- ۱۵ روز قبل از گلدهی، گلدهی، ۱۵ روز پس از گلدهی در نظر گرفته شد. با توجه به مقایسه میانگین صفات، محلول‌پاشی کلرید کلسیم بر وزن هزار دانه در زمان‌های مختلف محلول‌پاشی افزایش ۱۱ تا ۲۱٪ داشت. بیشترین میزان وزن هزار دانه متعلق به تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی (۲۱/۹۲٪ افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) بود. محلول‌پاشی کلرید کلسیم در زمان گلدهی (۱۹/۲۳٪ افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) و همچنین در زمان گلدهی و دو هفته پس از آن (۲۱/۰۵٪ افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) سبب افزایش در وزن خشک اندام هوایی شد. وزن دانه در بوته در تمام تیمارهای محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۲۱-۹٪ نشان داد. در نهایت محلول‌پاشی با کلرید کلسیم به‌ویژه در زمان دو هفته قبل از گلدهی به دلیل مهیا شدن سلول‌های جنسی و تعیین سطح پتانسیل فعالیت آن‌ها در عمل فتوسنتز پس از ظهور سنبله، می‌تواند سبب بهبود رشد در شرایط تنش گرمایی پایان فصل رشد شود.

واژه‌های کلیدی: تعداد سنبله در بوته، تنش گرما، گلدهی، محلول‌پاشی، وزن هزار دانه

مقدمه

گندم (*Tritium aestivum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مواد غذایی و محصول زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. رشد و نمو گندم از عوامل محیطی، نظیر درجه حرارت، درجه روز رشد، آب، نور، طول روز و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حاصلخیزی خاک متأثر شده و با محدود شدن آن‌ها، رشد و نمو گندم نیز محدود می‌گردد. مرحله گلدهی و پرشدن دانه از حساس‌ترین مراحل رشدی گندم به تنش‌ها است (Abdoli *et al*., 2013). حرارت‌های بالا در زمان انتقال از مرحله رویشی به زایشی، ساقه رفتن، ظهور سنبله و گرده‌افشانی به گیاه آسیب می‌رساند (Mahfoozi and Sasani, 2008). در سلول، کلسیم به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه عمل کرده و با تأثیرگذاری بر پایداری و فعالیت آنزیم‌ها، شرایط تنش را تعدیل می‌کند (Girija *et al*., 2002). دست‌یابی به غلظت بهینه یون کلسیم برای بالا بردن تحمل گیاه به تنش دارای اهمیت است (Tabatabaeian, 2014). کلسیم از جمله عناصری است که دارای اثرات حفاظتی بر ریشه گیاهان بوده و بقای گیاه در شرایط تنش را موجب می‌شود (Tabatabaeian, 2014). همچنین کلسیم از عناصر غذایی مهمی است که نقش کلیدی در ساختار دیواره‌ها و غشاهای سلولی ایفا می‌کند (Kadir, 2004). گیاهان برای رشد برگ و توسعه ریشه‌ها و سایه‌انداز نیازمند کلسیم هستند (Del-Amor and Marcelis, 2003). برخی مطالعات نشان می‌دهند که کلسیم در تنظیم واکنش‌های گیاه به تنش‌هایی از جمله گرما دخالت دارد (Colorado

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: Majid.Nabipour1396@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i4.71018

et al., 1994). افزایش محتوای کلسیم سیتوزولی تحت تنش گرما (Gong *et al*., 1998) خسارت گرما را تقلیل می‌دهد و سلول‌های گیاهی را قادر به زنده ماندن می‌کند (Gong *et al*., 1998). اگر کلسیم زیادی در سیتوزول آزاد گردد و غلظت کلسیم سیتوزولی بالا نگه داشته شود، ممکن است سمیت سلولی رخ دهد (Wang and Li, 1999). برخی محققان بیان کردند که تیمار گیاه ذرت (*Zea mays* L.) با کلسیم سبب افزایش تحمل ذاتی گیاه به تنش گرما می‌شود (Gong *et al*., 1998). همچنین کاربرد کلسیم خارجی با غلظت ۱۰-۵ میلی مولار، افزایش نشت از غشا به دلیل گرما در ریشه‌های چغندرقند را کاهش می‌دهد (Cook *et al*., 1986). اگرچه برخی دیگر گزارش کردند که تأخیر رشد ناشی از تنش گرما نتوانست با کاربرد کلسیم خارجی با غلظت ۱/۹ میلی مولار در گندم کاهش یابد (Onwueme and Laude, 1972). با این که نقش کلسیم در تحمل به تنش گرما دقیقاً مشخص نشده است، ولی برخی مطالعات بیان می‌کنند که کلسیم ممکن است در انتقال پیام (McAinsh *et al*., 1996) و بیان ژن (Trofimova *et al*., 1999) تحت تنش گرما دخیل باشد. دیگر محققین دریافتند که کلسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای سلولی را کاهش می‌دهد (Gong *et al*., 1998). کلسیم موجب تنظیم تورژسانس سلول محافظ روزنه و باز شدن آن می‌شود (Webb *et al*., 1996). حفظ تورژسانس سلول به تجمع محلول‌های سازگار یا محلول‌های فعال اسموتیکی (تنظیم اسمزی) بستگی دارد (Hare *et al*., 1998). کلسیم خارجی ممکن است با کلسیم سلولی تداخل نماید و بر تنظیم اسمزی سلول تحت شرایط تنش مؤثر باشد. اثرات منفی گرما بر گیاهان مشکلی جدی و اساسی است که اغلب موجب خسارت به محصولات کشاورزی در سراسر جهان می‌گردد. علاوه بر این‌ها مسأله گرم شدن کره زمین اهمیت تنش گرما را افزایش می‌دهد و ممکن است این وضعیت با گرم شدن جو و تغییر در الگوی بارندگی تشدید شود. گیاهان در تمام دوران زندگی خود با انواع مختلفی از تنش‌ها مواجه می‌شوند. در حال حاضر برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها از ترکیباتی استفاده می‌شود که موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌گردند. کلرید کلسیم یکی از آن‌هاست. بدین منظور آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد کلرید کلسیم بر کاهش اثرات سوء گرما بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در اهواز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. این آزمایش به صورت گلدانی (گلدان‌های پلاستیکی ۲۰ در ۲۵ سانتی‌متر با ظرفیت ۸ کیلوگرم خاک) و خارج از گلخانه (در شرایط مزرعه) اجرا گردید. نوع محلول جهت محلول‌پاشی به‌عنوان فاکتور اول (شامل: ۱- محلول‌پاشی با آب مقطر ۲- محلول‌پاشی با کلرید کلسیم (۱۰میلی‌مولار) و زمان کاربرد ترکیب شیمیایی مختلف به‌عنوان فاکتور دوم (شامل: ۱- ۱۵ روز قبل از گلدهی (آغاز تورم غلاف- کد ۴۳ زیداکس)، ۲- گلدهی (ظاهر شدن نخستین بساک‌ها- کد ۶۱ زیداکس)، ۳- ۱۵ روز پس از گلدهی، ۴- ۱۵روز قبل از گلدهی و گلدهی، ۵- گلدهی و ۱۵ روز پس از گلدهی، ۶- ۱۵روز قبل از گلدهی و ۱۵روز پس از گلدهی و ۷- ۱۵ روز قبل از گلدهی، گلدهی، ۱۵ روز پس از گلدهی) در نظر گرفته شد. رقم گندم مورد استفاده در این تحقیق رقم چمران بود. ابتدا خاک گلدان‌ها (خاک مزرعه) توسط قارچ‌کش بنومیل دو در هزار ضدعفونی شده و پس از آن با توجه به آزمون خاک گلدان‌ها (جدول ۱)، کودهای شیمیایی بر اساس توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای گیاه گندم (شامل: ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت تقسیط در مراحل پایه، پایان پنجه‌زنی، پایان ساقه رفتن و ظهور سنبله، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم در مرحله پایه) مورد استفاده قرار گرفت و ۱۵ عدد بذر (پس از عمل ضدعفونی)، در هر گلدان کشت شد. آبیاری بر اساس توصیه‌های علمی موجود مراکز تحقیقاتی برای گیاه گندم صورت گرفته و در مرحله سه تا چهار برگی عمل تنک انجام شد و تعداد گیاهچه‌ها به پنج بوته در هر گلدان کاهش یافت. محلول‌ها در زمان‌های مناسب و تعیین شده توسط اسپری دستی اعمال شدند. در زمان رسیدگی کامل، سه بوته از هر گلدان (در مجموع ۹ گیاه از هر تیمار) برداشت شد و صفاتی از جمله وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، طول سنبله ساقه اصلی، طول برگ پرچم، تعداد سنبله در بوته، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله اصلی، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، طول سنبله ساقه اصلی و طول برگ پرچم سنبله ساقه اصلی از خط‌کش میلی‌متری، و برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ استفاده شد. تجزیه واریانس صفات توسط نرم‌افزار MSTATC، مقایسه میانگین صفات با استفاده از خطای استاندارد میانگین (SE) و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل صورت گرفت.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک
Table 1- Soil test results

هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH	نیتروژن N (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})
1.40	8.04	63.00	41.00	244.00

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

اگرچه از لحاظ وزن خشک اندام هوایی ، زمـان محلـول‌پاشـی و برهم‌کنش زمان محلول‌پاشی در نـوع محلـول در سـطح احتمـال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادنـد، ولـی نـوع محلـول تفـاوت معنـی‌داری نداشت (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده کم‌ترین میـزان وزن خشک اندام هوایی (۶/۰ گرم در بوتـه)، در میـان تیمارهـا متعلـق بـه تیمار محلول‌پاشی با آب مقطـر در زمـان گلـدهی و دو هفتـه پـس از گلدهی (۲۱/۰۵٪ کمتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شـرایط مشابه) مشاهده شد (شکل ۱). بـیش‌تـرین میـزان وزن خشـک انـدام هوایی (۹/۱ گرم در بوته) در تیمار محلول‌پاشی بـا کلریـد کلسـیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی و گلدهی (۲۳/۰۷٪ بیشتر از تیمار شاهد) به‌دست آمد که با تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در دو هفته قبـل از گلدهی (۸/۴ گرم در بوته)، دو هفته پـس از گلـدهی (۸/۲ گـرم در بوته)، گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (۷/۶ گرم در بوته) و دو هفته قبل از گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (۸/۲ گرم در بوتـه) اخـتلاف آماری معنی‌دار نداشت (شکل ۱).

ارتفاع بوته

با توجه به جدول تجزیه واریـانس صـفات (جـدول ۲)، اگرچـه از لحاظ ارتفاع بوته، زمـان محلـول‌پاشـی و نـوع محلـول در سـطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند، ولی برهمکنش زمـان محلـول‌پاشـی در نوع محلول در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۲).

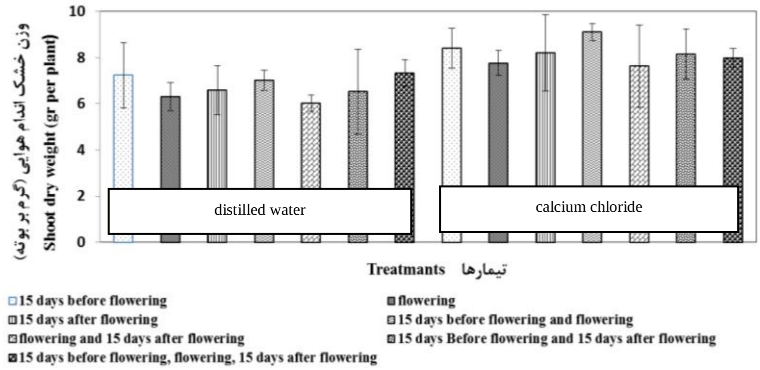
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های مختلف رشدی رقم چمران گندم بر صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، طول سنبله ساقه اصلی، طول برگ پرچم، تعداد سنبله در بوته و تعداد سنبلچه در سنبله

Table 2- Analysis of variance of the effect of foliar application with distilled water and calcium chloride at different growth times of Chamran wheat cultivar on shoot dry weight, plant height, spike height, flag leaf length, spike number per plant and spikelet number per spike

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	Mean squares میانگین مربعات: وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	طول برگ پرچم Flag leaf length	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	تعداد سنبلچه در سنبله Spikelet number per spike
بلوک Replication	2	0.7 ^{ns}	2.7 ^{ns}	1.4 ^{ns}	10.5 *	0.3 ^{ns}	0.1 ^{ns}
زمان محلول‌پاشی Foliar application time	6	4.2**	175.8**	2.2 ^{ns}	15.2**	0.2 ^{ns}	1.5**
نوع محلول Solution type	1	0.1 ^{ns}	91.5**	1.2 ^{ns}	1.5 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.2 ^{ns}
زمان محلول‌پاشی × نوع محلول Foliar application × Solution time type	6	3.1**	34.1 *	0.6 ^{ns}	4.9 *	0.4 ^{ns}	0.6 *
خطا Error	26	0.5	14.7	1.1	2.9	0.3	0.3
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation (%)	-	8.9	9.1	16.0	17.5	15.8	3.6

* و **: به‌ترتیب سطح معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد. ns: فاقد اختلاف معنی‌دار

* and **: respectively, the significant level at the level of 5% and 1%. ns: no significant difference



شکل ۱- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر وزن خشک اندام هوایی گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 1- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on shoot dry weight of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).

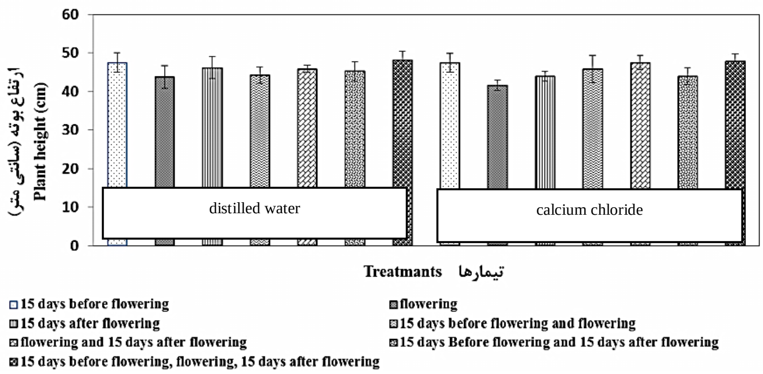
با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، در میان تیمارها متعلق به تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در زمان گلدهی (۴۱/۶ سانتی‌متر، ۵/۲۸٪ کمتر از تیمار شاهد) و در تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان دو هفته قبل از گلدهی، گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (۴۸/۲ سانتی‌متر، ۰/۸۲٪ بیشتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) به‌دست آمد (شکل ۲).

طول سنبله

از لحاظ طول سنبله، اثرات اصلی و متقابل فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان طول سنبله (سانتی‌متر)، در میان تیمارها متعلق به تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در دو هفته قبل از گلدهی (۸/۳ سانتی‌متر، ۲۰/۴۸٪ بیشتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) بود (شکل ۳). طول سنبله در تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (۴/۹ سانتی‌متر، ۲۲/۲۲٪ کمتر از تیمار شاهد) کم‌ترین میزان را نشان داد (شکل ۳).

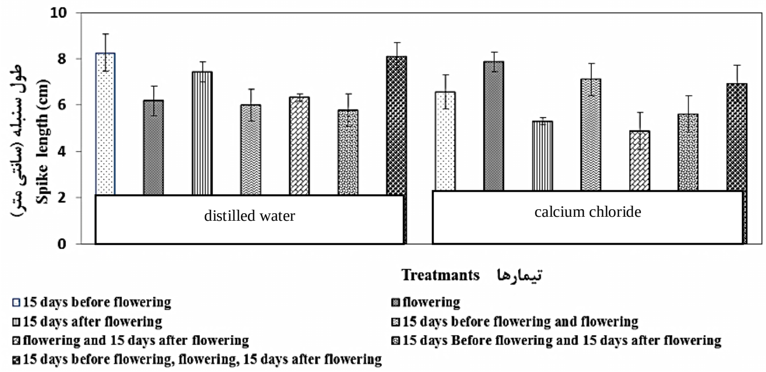
طول برگ پرچم

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات (جدول ۲)، از لحاظ طول برگ پرچم، زمان محلول‌پاشی (در سطح ۱٪) و برهمکنش زمان محلول‌پاشی در نوع محلول (در سطح ۵٪) اختلاف آماری معنی‌دار نشان دادند، ولی نوع محلول تفاوت آماری معنی‌دار نشان نداد (جدول ۲).



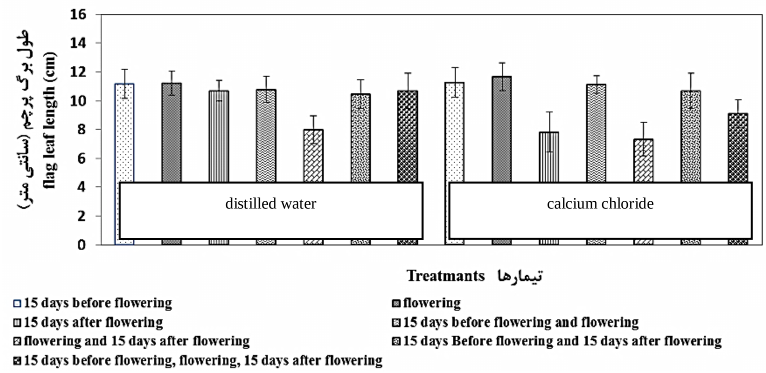
شکل ۲- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر ارتفاع بوته گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 2- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on Plant height of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر طول سنبله گندم (رقم چمران) (نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 3- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on Spike length of wheat (Chamran cultivar) (Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



شکل ٤- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان های متفاوت بر طول برگ پرچم گندم (رقم چمران) (نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 4- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on flag leaf length of wheat (Chamran cultivar) (Error bars are the standard error of the average of three repetitions).

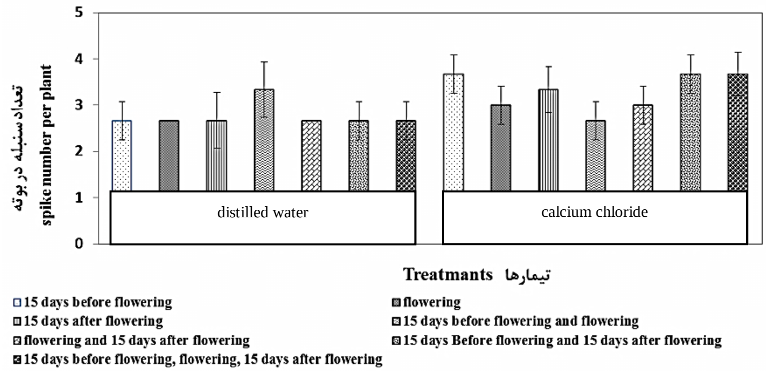
با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۴ به‌ترتیب بیشترین میزان طول برگ پرچم در شرایط کاربرد آب مقطر، در میان تیمارها متعلق به زمان دو هفته قبل از گلدهی و در زمان گلدهی (۱۱/۲ سانتی‌متر) و کم‌ترین میزان آن در زمان دو هفته قبل و دو هفته پس از گلدهی به میزان ۸/۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان طول برگ پرچم در شرایط اعمال کلرید کلسیم در زمان گلدهی (۱۱/۷ سانتی‌متر، ۴/۲۷٪ بیشتر از تیمار شاهد) مشاهده شد که با تیمارهای مربوط به محلول‌پاشی کلرید کلسیم در زمان‌های دو هفته قبل از گلدهی، دو هفته قبل از گلدهی و گلدهی و همچنین دو هفته قبل از گلدهی و دو هفته پس از گلدهی اختلاف آماری معنی‌دار نشان نداد (شکل ۴).

تعداد سنبله در بوته

از لحاظ تعداد سنبله در بوته، هیچ‌یک از اثرات اصلی و متقابل اختلاف آماری معنی‌دار نداشتند (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده در میان تیمارها، بیش‌ترین تعداد سنبله در بوته در تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی، در زمان دو هفته قبل از گلدهی و دو هفته پس از گلدهی و همچنین در زمان دو هفته قبل از گلدهی، گلدهی و دو هفته پس از گلدهی به میزان ۳/۷ به‌دست آمد و کم‌ترین تعداد سنبله در بوته ۲/۷ بود (شکل ۵).

تعداد سنبلچه در سنبله

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات (جدول ۲)، از لحاظ تعداد سنبلچه در سنبله، زمان محلول‌پاشی (در سطح ۱٪) و برهمکنش زمان محلول‌پاشی در نوع محلول در سطح ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار نشان دادند، ولی نوع محلول تفاوت آماری معنی‌دار نداشت (جدول ۲).



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر تعداد سنبله در بوته گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 5- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on spike number per plant of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).

با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۶، تعداد سنبلچه در سنبله در تیمار کاربرد آب مقطر در زمان گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (با میزان ۱۶/۷، ۴/۱۹٪ بیشتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) بیشترین میزان را دارا بود. کم‌ترین تعداد سنبلچه در سنبله (با میزان ۱۵/۷) در شرایط محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان های گلدهی (عدم تغییر در مقایسه با تیمار شاهد) و همچنین در زمان دو هفته قبل از گلدهی، گلدهی و دو هفته قبل از گلدهی (۳/۶۸٪ کمتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) و همچنین در شرایط اعمال کلرید کلسیم در زمان گلدهی و نیز در زمان دو هفته قبل از گلدهی و گلدهی (۳/۶۸٪ کمتر از تیمار شاهد) مشاهده شد (شکل ۶).

تعداد دانه در سنبلچه

از لحاظ تعداد دانه در سنبلچه، اثرات اصلی و متقابل فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده کم‌ترین تعداد دانه در سنبلچه (به میزان ۲/۳)، در میان تیمارها متعلق به تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان گلدهی (۲۳/۳۳٪ کاهش در مقایسه با تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) و همچنین تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در زمان گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (۲۳/۳۳٪ کاهش در مقایسه با تیمار شاهد) بود. بیش‌ترین تعداد دانه در سنبلچه ۳ عدد به‌دست آمد (شکل ۷).

تعداد دانه در سنبله

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات (جدول ۳)، از لحاظ تعداد دانه در سنبله، هیچ‌یک از اثرات اصلی و متقابل اختلاف آماری معنی‌دار نشان ندادند (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۸ به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله، در میان تیمارها متعلق به تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان گلدهی (به میزان ۳۶/۳، ۲۲/۷۶٪ کمتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) و در تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (با میزان ۵۰/۰، ۲۵/۴٪ بیشتر از تیمار محلولپاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) به‌دست آمد (شکل ۸).

تعداد دانه در بوته

از لحاظ تعداد دانه در بوته، زمان محلول‌پاشی و برهمکنش زمان محلول‌پاشی در نوع محلول در سطح ۱ درصد اختلاف آماری معنی‌دار نشان دادند (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین تعداد دانه در بوته، در میان تیمارها متعلق به تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان دو هفته قبل از گلدهی، گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (با میزان ۹۱/۹، ۰/۰۲٪ بیشتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) بود (شکل ۹). تعداد دانه در بوته در تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در گلدهی و دو پس از گلدهی (با میزان ۸۰/۰، ۷/۰۸٪ کمتر از تیمار محلول‌پاشی کلرید کلسیم در شرایط مشابه) کم‌ترین میزان را به خود اختصاص داد (شکل ۹).

وزن دانه در بوته

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات (جدول ۳)، از لحاظ وزن دانه در بوته، هیچ‌یک از اثرات اصلی و متقابل تفاوت آماری معنی‌دار نداشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۱۰، کم‌ترین میزان وزن دانه در بوته (به میزان ۲/۹ گرم در بوته) در تیمار کاربرد آب مقطر در زمان‌های گلدهی (۱۹/۴۴٪ کمتر از تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در شرایط مشابه)، دو هفته پس از

گلدهی (۱۹/۴۴٪ کمتر از تیمـار محلـول‌پاشـی بـا کلریـد کلسـیم در شرایط مشابه) و در گلدهی و دو هفته پس از گلدهی (۲۱/۶۲٪ کمتـر از تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در شرایط مشـابه) و بـیش‌تـرین میزان در تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبـل از گلدهی و گلدهی با میزان ۳/۹ گرم در بوته (۲۳/۰۷٪ بیشـتر از تیمـار شاهد) به‌دست آمد (شکل ۱۰).

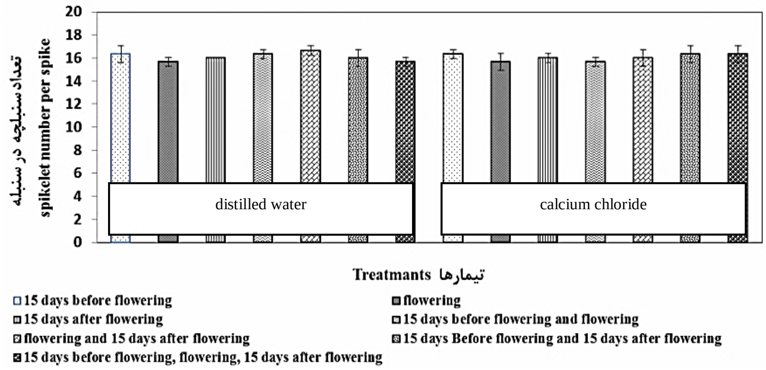
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های مختلف رشدی رقم چمران گندم بر صفات تعداد دانه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت

Table 3- Analysis of variance of the effect of Foliar application with distilled water and calcium chloride at different growth times of Chamran wheat cultivar on number of grains per spikelet, number of grains per spike, number of grains per plant, grain weight per plant, 1000 grain weight and harvest index.

		Mean squares میانگین مربعات					
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	تعداد دانه در سنبلچه Number of grains per spikelet	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	تعداد دانه در بوته Number of grains per plant	وزن دانه در بوته Grain weight per plant	وزن هزار دانه 1000 grain weight	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Replication	2	0.1 ns	0.5 ns	17.4 ns	0.6 ns	25.2 ns	28.9 ns
زمان محلول‌پاشی Foliar application time	6	0.1 ns	32.9 ns	196.5 **	0.3 ns	21.4 ns	44.8**
نوع محلول Solution type	1	0.1 ns	0.6 ns	0.1 ns	0.1 ns	11.5 ns	48.2*
زمان محلول‌پاشی × نوع محلول Foliar × Solution application time type	6	0. 1 ns	21.7 ns	322.2 **	0.4 ns	12.3 ns	21.5ns
خطا Error	26	0.1	23.8	0.1	0.2	12.4	12.2
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation (%)	-	9.5	10.3	0.5	11.8	8.7	7.1

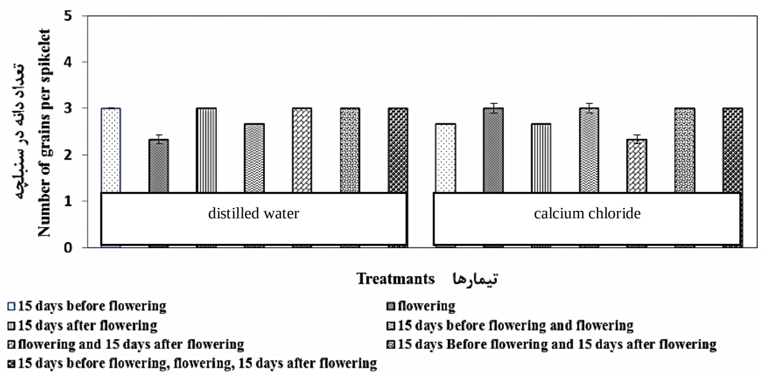
* و **: به‌ترتیب سطح معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد. ns: فاقد اختلاف معنی‌دار.

* and **: respectively, the significant level at the level of 5% and 1%. ns: no significant difference.



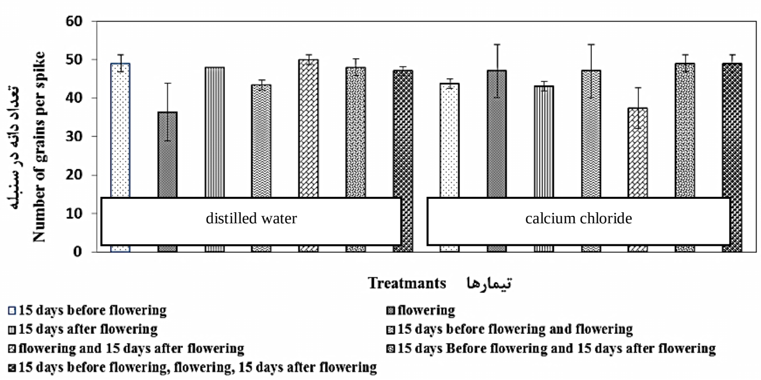
شکل ٦- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر تعداد سنبلچه در سنبله گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 6- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on spikelet number per spike of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



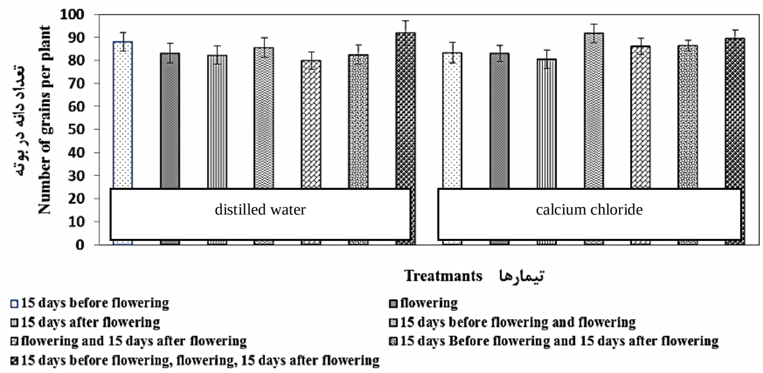
شکل ۷- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر تعداد دانه در سنبلچه گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 7- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on Number of grains per spikelet of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



شکل ۸- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر تعداد دانه در سنبله گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 8- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on Number of grains per spike of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



شکل ۹- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر تعداد دانه در بوته گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

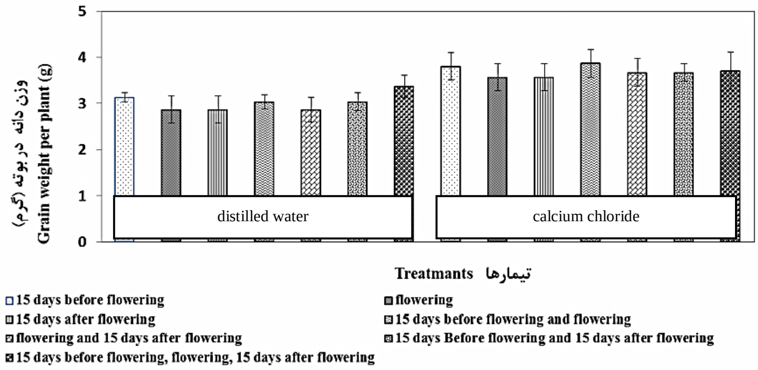
Figure 9- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on Number of grains per plant of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).

وزن هزار دانه

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات (جدول ۳)، از لحاظ وزن هزار دانه، اثرات اصلی و متقابل تفاوت آماری معنی‌دار نشان ندادند (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۱۱ بیش‌ترین میزان وزن هزار دانه در میان تیمارها متعلق به تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی (۴۵/۶ گرم، ۲۱/۹۲٪ بیشتر از تیمار شاهد) بود. کم‌ترین میزان وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی با آب مقطر در زمان گلدهی با میزان ۳۴/۵ گرم (۱۹/۷۶٪ کمتر از تیمار محلول‌پاشی با کلرید کلسیم در شرایط مشابه) به‌دست آمد که البته این تفاوت از لحاظ آماری در مقایسه با سایر تیمارهای محلول‌پاشی با آب مقطر معنی‌دار نبود (شکل ۱۱).

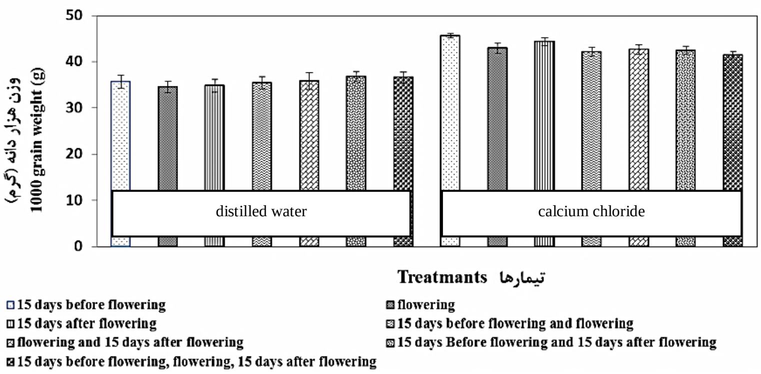
شاخص برداشت

از لحاظ شاخص برداشت، زمان محلول‌پاشی (در سطح ۱٪) و نوع محلول اختلاف آماری معنی‌دار نشان دادند، در حالی‌که برهمکنش زمان محلول‌پاشی در نوع محلول معنی‌دار نبود (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده (شکل ۱۲) بیش‌ترین میزان شاخص برداشت در زمان گلدهی و دو هفته پس از گلدهی با میزان ۴۷/۸ به‌دست آمد (شکل ۱۲). کم‌ترین میزان شاخص برداشت متعلق به محلول‌پاشی در زمان دو هفته قبل از گلدهی و گلدهی بود (شکل ۱۲).



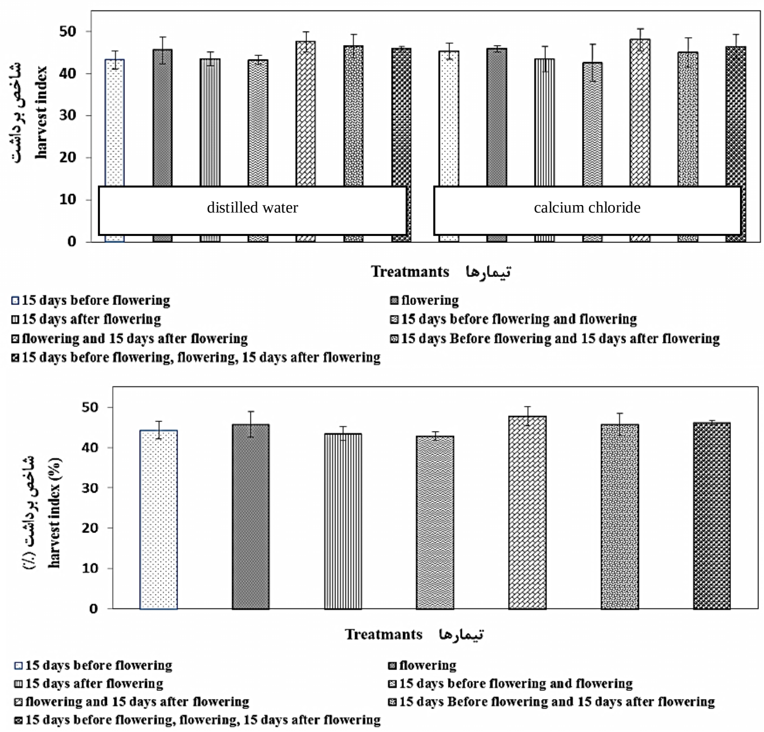
شکل ۱۰- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر وزن دانه در بوته گندم (رقم چمران) (نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 10- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on Grain weight per plant of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



شکل ۱۱- اثر محلول‌پاشی با آب مقطر و کلرید کلسیم در زمان‌های متفاوت بر وزن هزار دانه گندم (رقم چمران) (نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 11- Effect of foliar application with distilled water and calcium chloride in different times on 1000 grain weight of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).



شکل ۱۲- اثر اصلی زمان محلول‌پاشی بر شاخص برداشت گندم (رقم چمران)
(نشان‌گرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

Figure 12- Main effect of foliar application time on harvest index of wheat (Chamran cultivar)
(Error bars are the standard error of the average of three repetitions).

تنش‌های محیطی از اصلی‌ترین عوامل کاهش عملکرد گیاهان به‌ویژه غلات هستند و تنش دمای بالا از جمله آن‌هاست. گرما به‌خصوص در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، رشد و نمو غلات از جمله گندم را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Kumar *et al*., 2012). در استان خوزستان، گندم با وجود شرایط آب و هوایی مناسب، در فصل پاییز و زمستان رشد رویشی خوبی داشته و پتانسیل تولید عملکرد آن بالاست، ولی با افزایش ناگهانی دما در مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک با تنش گرمای انتهای فصل رشد مواجه می‌شود و عملکرد آن کاهش می‌یابد. در نتایج به‌دست آمده نشان داده شده است که در شرایط تنش گرمای پایان فصل رشد گندم در اهواز، محلول‌پاشی کلرید کلسیم سبب بهبود وزن خشک اندام هوایی شد (شکل ۱). نقش افزایش وزن خشک اندام هوایی در افزایش تولید ماده خشک دانه در منابع مختلف به‌طور متفاوت بیان شده است. در مطالعه حاضر مشابه با برخی از مطالعات دیگر (Barati and Ghadiri, 2016)، همراه با افزایش وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه افزایش یافت (شکل‌های ۲ و ۱۰). نتایج حاصل (شکل‌های ۱ و ۲) نشان داد که افزایش ارتفاع بوته با افزایش در وزن خشک اندام هوایی گیاه همراه بود. ارتفاع ویژگی ارثی است ولی تا حد بالایی متأثر از عوامل محیطی است (Amani, 2014). ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی به‌عنوان یک ویژگی در پاسخ به تنش در نظر گرفته می‌شود که با قوی بودن گیاهچه در ارتباط است (Amani, 2014). مهم‌ترین هدف از کشت عملکرد دانه است، زیرا نتایج آن به طور اقتصادی متوجه کشاورز می‌شود. بالاترین عملکرد زمانی به‌دست می‌آید که بین اجزای عملکرد تعادل مناسبی وجود داشته باشد (Mohammadi Sarab Badieh, 2006). اجزای عملکرد به دلیل قابل مشاهده بودن و سهولت در اندازه‌گیری، در بررسی‌های مربوط به عملکرد اهمیت بالایی دارند. البته تأکید بر یکی از اجزای عملکرد، صحیح نیست زیرا بین اجزای عملکرد حالت جبران‌کنندگی وجود دارد (Amani, 2014). تعداد سنبله در بوته به‌طور ژنتیکی کنترل می‌شود، ولی تابعی از عملیات زراعی نیز هست. تعداد دانه در سنبله نیز تابع فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و نمو است (Koocheki and Sarmadnia, 1999). تعداد دانهٔ کم‌تر در سنبله نشانه تأثیر تنش گرما بر گیاه و کاهش باروری دانه‌ها به دلیل عدم تلقیح مناسب و کمبود مواد فتوسنتزی کافی و رقابت میان دانه‌ها برای جذب مواد غذایی می‌باشد. کمبود مواد فتوسنتزی به دلیل تنش گرما در زمان پرشدن دانه‌های گندم، وزن دانه را به دلیل اختلال در انتقال مواد به دانه‌ها کاهش می‌دهد. البته نتایج نشان داد که محلول‌پاشی کلرید کلسیم در این شرایط، سبب بهبود باروری دانه‌ها و در نتیجه تعداد دانه در هر سنبله

شد. تنش گرما در مراحل اولیۀ پرشدن دانه موجب کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم و کاهش ظرفیت مخزن برای تجمع ماده خشک می‌شود. بنابراین، حتی اگر گیاه در ادامه در تولید مواد فتوسنتزی کمبودی نداشته باشد، محدودیت جذب منبع به دلیل کاهش اندازه مخزن در گیاه اتفاق می‌افتد و کاهش وزن دانه را در پی خواهد داشت (Nabipour *et al.*, 2011). تنش گرما در مرحله پرشدن دانه گندم، سرعت انتقال مواد ذخیره‌ای ساقه به دانه‌ها را افزایش می‌دهد که موجب افزایش سرعت پرشدن دانه‌ها و کوتاه شدن دوره پرشدن دانه می‌شود (Nabipour *et al.*, 2011). برخی محققان بیان کردند که انتخاب بر اساس تعداد دانه، بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه دارد (Hamze *et al.*, 2009). تعداد دانه در سنبله یکی از اجزای عملکرد است که به دلیل ارزیابی آسان و کم هزینه بیشتر مورد توجه است. در برخی تحقیق‌ها بر گندم، بین تعداد دانه در سنبله و عملکرد همبستگی مثبتی مشاهده شده است (Jafari Haghghi, 2009). با انتخاب بر اساس وزن هزار دانه به‌طور غیرمستقیم می‌توان عملکرد را بهبود بخشید. عوامل مختلفی (محیطی و ژنتیکی) موجب تغییر در وزن هزار دانه می‌شوند. با وجود تغییرات در وزن هزار دانه بین این صفت و عملکرد همبستگی‌هایی بیان شده است (Mohammadi, 2014). نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش وزن دانه و کاهش وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت افزایش یافت (شکل‌های ۱، ۱۰ و ۱۲). شاخص برداشت از تقسیم وزن کل دانه بر وزن کل گیاه به‌دست می‌آید و شاخص برداشت بالاتر گواه کارایی بیشتر گیاه است، زیرا نسبت بالاتری از مواد جذب شده توسط گیاه به دانه انتقال پیدا کرده است. برخی محققین همبستگی‌های بین عملکرد دانه و طول سنبله گزارش کرده‌اند (Ganbalani *et al.*, 2009). برخی پژوهشگران همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد و صفات طول سنبله، وزن صد دانه، قطر ساقه، تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله گزارش کرده‌اند (Naroui Rad *et al.*, 2006). نتایج به‌دست آمده نشان داد که محلول‌پاشی کلرید کلسیم سبب تقلیل اثرات تنش گرما بر گیاه گندم شد. کلسیم به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه عمل نموده و با اثر بر پایداری و فعالیت آنزیم‌ها، شرایط تنش را تعدیل می‌کند (Girija *et al.*, 2002). دست‌یابی به غلظت مناسب یون کلسیم به منظور افزایش مقاومت گیاه به تنش مهم است (Tabatabaeian, 2014) .کلسیم نقش کلیدی در ساختار دیواره‌ها و غشاهای سلولی ایفا می‌کند (Kadir, 2004) و گیاهان نیازمند کلسیم هستند (Del-Amor and Marcelis, 2003). نتایج حاصل نشان داد که محلول‌پاشی کلرید کلسیم سبب بهبود وزن خشک اندام هوایی گیاه شد. کلسیم در تنظیم واکنش‌های گیاه به تنش‌های محیطی از جمله گرما دخیل است (Colorado *et al.*, 1994). افزایش محتوای کلسیم سیتوسولی تحت تنش گرما (Gong *et al.*, 1998) می‌تواند خسارت گرما را تقلیل دهد و سلول‌های گیاهی را قادر به زنده ماندن نماید (Gong *et al.*, 1998). اگر کلسیم زیادی در سیتوزول آزاد شود ممکن است سلول سمی گردد (Wang and Li, 1999). کلسیم خارجی، نشت غشای ناشی از گرما را کاهش می‌دهد (Cook *et al.*, 1986). کلسیم ممکن است در انتقال سیگنال (Mc Ainsh *et al.*, 1996) و بیان ژن (Trofimova *et al.*, 1999) تحت تنش گرما دخیل باشد. محققین (Gong *et al.*, 1998) بیان کردند که کلسیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای سلولی را کاهش می‌دهد. همچنین کلسیم سبب تنظیم تورژسانس سلول محافظ روزن و باز شدن آن می‌گردد (Webb *et al.*, 1996). حفظ تورژسانس سلول به تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمز بستگی دارد (Hare *et al.*, 1998). بررسی‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی کلسیم نتایج مناسبی بر بهبود استحکام سلول‌های گیاهی و تأخیر در فرآیند پیری دارد (Ferguson, 1984). کلسیم در جوانه زدن دانه گرده و رشد لوله گرده در بسیاری از خانواده‌های گیاهی مهم است. نتایج آزمایش حاضر نیز نشان می‌دهد که محلول‌پاشی کلرید کلسیم در زمان‌های مختلف سبب افزایش تعداد دانه در بوته شد (شکل ۹). کلسیم باعث تأخیر در کاهش پروتئین و فسفولیپید در سلول و افزایش فعالیت ATPآز می‌شود (Malakooti, 2001) و رشد طولی ریشه و شاخه‌ها را موجب می‌گردد (Pirmoradian, 1998). نتایج به‌دست آمده در شکل ۲ حاکی از این است که محلول‌پاشی کلرید کلسیم در زمان‌های مختلف، ارتفاع بوته را بهبود بخشید. کلسیم نقش مهمی در تنظیم نفوذپذیری انتخابی غشا سلول دارد. وقتی گیاه در شرایط کمبود کلسیم رشد می‌کند غشاهای سلولی تراوا شده و کارایی خود را در ممانعت از انتشار آزاد یون‌ها از دست می‌دهد (Mojtahedi and Lessani, 2005). کلسیم کوفاکتور آنزیم‌های آمیلاز و ATP-ase بوده و در پایداری و مقاومت دیواره سلولی و فعالیت طبیعی بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است. این عنصر به فعالیت اکسین کمک کرده و در تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، جوانه‌زنی و رشد لوله گرده تأثیرگذار است (Fageria, 2009). کلسیم در بهبود گلدهی، بلوغ و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به اندام‌های زایشی نقش دارد (Marschner, 1995). نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد کاربرد کلرید کلسیم، افزایش در وزن دانه در بوته را به دلیل بهبود انتقال تولیدات فتوسنتزی از برگ‌ها به دانه‌ها به‌عنوان مخازن فیزیولوژیک به دنبال داشته نیز قابل مشاهده است (شکل ۱۰).

نتیجه‌گیری

با نگاهی به تحقیقات انجام شده، اثر مثبت کاربرد کلریدکلسیم در برخی از گیاهان در شرایط تنش نشان داده شده است، اما اتفاق نظری در مورد بهترین زمان و یا بهترین نوع کاربرد آن وجود ندارد. القاء تنش گرما در زمان شروع و در طول دوره گلدهی با کاهش کارآیی دانه

گرده و تخمدان باعث جلوگیری از انجام عمل باروری و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود، از طرفی زمانی‌که گیاهان در مرحله پس از گلدهی و در مرحله پر شدن دانه در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند، تنش گرما با تسریع در این مرحله و کاهش دوره پر شدن دانه، موجب کاهش وزن دانه و در نتیجه عملکرد می‌شود. هم‌چنین در این مرحله گیاه تمایل دارد که با تولید فرآورده و هدایت آن به سمت دانه با تنش گرما مقابله کند، اما تنش گرما با اختلال در عمل فتوسنتز و هدایت آن به سمت دانه موجب کاهش وزن دانه می‌گردد. در شرایط تنش گرما، استفاده از کلرید کلسیم باعث بهبود خصوصیاتی مانند تعداد سنبله در بوته، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه شد و اثرات مخرب گرما بر روی گیاه با کاربرد کلرید کلسیم کاهش پیدا کرد. بر طبق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم در زمان دو هفته قبل از گلدهی به منظور کاهش اثرات مخرب تنش گرما در گندم قابل توصیه می‌باشد.

References

1. Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S., and Ghobadi, M. E. 2013. Investigation of some physiological and biochemical traits and their relationship with yield and its components in advanced bread wheat cultivars under post-pollinated water stress conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 6 (1): 63-47. (in Persian).
2. Amani, Sh. 2014. Study of genetic variation of some indigenous Iranian wheat germs using morphological and phenological traits in Ahwaz climatic conditions. Master's thesis. Shahid Chamran University of Ahwaz. (in Persian).
3. Barati, V., and Ghadiri, H. 2016. Effects of Drought Stress and Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Grain Protein Content of Two Barley Cultivars. Journal of Crop production and processing 6 (20):191-207. (in Persian).
4. Colorado, P., Rodriguez. A., Nicolas, G., and Rodriguez, D. 1994. Abscisic acid and stress regulate gene expression during germination of chick- pea seeds. Possible role of calcium. Physiologia Plantarum 91: 461-467.
5. Cook, A., Cookson, A., and Earnshaw, M. J. 1986. The mechanism of action on calcium in the inhibition on high tempreture- induced leakage of betacyanin from beet root discs. New Phytologist Journal 102: 491-497.
6. Del-Amor, F. K., and Marcelis, L. F. M. 2003. Regulation of nutrient uptake, water uptake and growth under calcium starvation and recovery. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 78: 343-349.
7. Fageria, N. K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press, Boca Raton. FL. USA.
8. Ferguson, I. B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. Plant Cell and Environment 7: 77-489.
9. Ganbalani, A. N., Ganbalani, G. N., and Hassanpanah, D. 2009. Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil. Iranian Journal of Food, Agriculture and Environment 7(3&4): 228-234. (in Persian).
10. Girija, C., Smit, B. N., and Swamy, P. 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis Hypogaea* L.). Environmental and Experimental Botany 47: 1-10.
11. Gong, M., Van der Liut, A. H., Knight, M. R., and Trewavas, A. J. 1998. Heat-shock-induced changes in intracellular Ca^{2+} level in tabacco seedlings in relation to thermotolerance. Plant Physiology 116: 429-437.
12. Hamze, H., Saba, J. Jabari, F. Nassiri, J., and Alavi Hosseini, M. 2009. Estimation of components variation, genotypic and phenotypic correlation coefficients of grain yield and its component in bread wheat (*Tritium aestivum* L.) under rainfed conditions. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 2 (1): 29-38. (in Persian with English abstract).
13. Hare, P. D., Cress, W. A., and Van, S. J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. Plant, Cell and Environment 21: 535-553.
14. Jafari Haghghi, B. 2009. Investigating the relationship between grain yield and its components in the most suitable wheat cultivars using PATH ANALYSIS. Plant Ecophysiology 1 (2): 25-14. (in Persian).
15. Kadir, S. A. 2004. Fruit quality at harvest of ‘Jonathan’ apple treated with foliar applied calcium chloride. Journal of Plant Nutrition 27: 1991-2006.
16. Koocheki, A., and Sarmadnia, G. 1999. Physiology of crop plants (Translation). University of Tehran Publications. (in Persian).
17. Kumar, R. R., Goswami, S., Sharma, S. K., Singh, K., Gadpayle, K. A., Kumar, N., Rai, G. K., Singh, M., and Rai, R. D. 2012. Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H_2O_2 and transcript of heat shock protein. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry 4(4): 83-91.
18. Mahfoozi, S., and Sasani, S. H. 2008. Requirement of vernalization in some wheat and barley genotypes and its relation with expression of cold resistance in controlled and field conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 39 (1): 126-113. (in Persian).
19. Malakooti, M. J. 2001. Why calcium spray in fruit trees should be common. Jahad Keshavarsy Embassy,

Horticulture section 273-283. (in Persian).
20. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher plants. Academic Press, London, UK.
21. McAinsh, M. R., Clayton, H., Mansfield, T. A., and Hertherington, A. M. 1996. Changes in stomatal behavior and guard cell cytosolic free calcium in response to oxidative stress. Plant Physiology 111: 1031-1042.
22. Mohammadi Sarab Badieh, M. 2006. Genetic study of traits related to drought tolerance in bread wheat by diallel method. Master's thesis. Razi University. (in Persian).
23. Mohammadi, S. 2014. Study of relationship between grain yield and its components in bread wheat cultivars under full irrigation conditions and end of season moisture stress using multivariate statistical methods. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 99-109. (in Persian).
24. Mojtahedi, M., and Lessani, H. 2005. The life of the green plant (Translation). Tehran University Press. 587 pages. (in Persian).
25. Nabipour, M., Atlasi Pak, V., Abdeshahian, M., Hasibi, P., and Saeedipour, S. 2011. Crop responses and adaptations to temperature stress (Translation). Shahid Chamran University of Ahvaz Publications. 380 pages. (in Persian).
26. Naroui Rad, M., Farzanju, M., Fanay, H., Arjmandy Nejad, A., Ghasemy, A., and Polshekane Pahlevan, M. 2006. The study genetic variation and factor analysis for morphological characters of wheat native accessions of Sistan and Baluchistan. Journal of Pajouhesh and Sazandegi 19 (4): 50-57. (in Persian with English abstract).
27. Onwueme, I. C., and Laude, H. M. 1972. Heat-induced growth retardation and attempts at its prevention in barley and wheat coleoptiles. Journal of Agricultural Science 79: 331-333.
28. Pirmoradian, M. 1998. Foliar nutrition of fruit trees. Tehran; Nashe Jahan Publications. 32 pages. (in Persian).
29. Tabatabaeian, J. 2014. The effects of calcium on improvement of salt stress damages in tomato. Plant Products Research Journal 21 (2): 125-137. (in Persian with English abstract).
30. Trofimova, M. S., Andreev, I. M., and Kuznestsov, V. V. 1999. Calcium is involved in regulation of the synthesis of HSPs in suspension-cultured sugar beet cells under hyperthermia. Journal of Physiologia Plantarum 105: 67-73.
31. Wang, J. B., and Li, R. Q. 1999. Changes of Ca^{2+} distribution in esophyll cells of pepper under heat stress. Acta Horticulturae Sinica 26: 57-58.
32. Webb, A. A. R., Mcainsh, M. R., Taylor, J. E., and Hetherington, A. M. 1996. Calcium ions as intercellular second messengers in higher plants. Advances in Botanical Research 2: 45-96.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 4, Winter. 2019, p. 833-846

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۸۴۶-۸۳۳

Effect of Calcium Chloride Application Time on Reducing the Effects of Heat Exhaustion on Yield and Yield Components of Wheat in Ahvaz

N. Asadi Nasab[1]- M. Nabipour[2]*- H. Roshanfekr[3]- A. Rahnama Ghahfarokhi[3]

Received: 14-02-2018
Accepted: 21-07-2018

Introduction The negative effects of heat stress on plants are serious problems, which often cause damage to crops throughout the world. In addition, the issue of global warming increases the importance of the heat stress. Currently, to increase the resistance of plants to environmental stresses, some chemical compounds are used that improve the metabolic activity of the plant. Calcium chloride is one of them and finding the appropriate time to use it is important. For this purpose, the present experiment was conducted to investigate the effect of calcium chloride application on reducing the effects of heat stress on yield and yield components of wheat in Ahvaz.

Materials and Methods This experiment was carried out on wheat (Chamran cultivar) plant in a factorial experiment based on a complete randomized block design with three replications at the experimental farm of Shahid Chamran University of Ahvaz during a growing season 2016-2017.

The solution type was used as the initial factor: 1- foliar application with distilled water, 2- foliar application with calcium chloride (10 mM).

The application time was used as the second factor: 1- 15 days before flowering (A), 2- flowering (B), 3- 15 days after flowering (C), 4- 15 days before flowering and flowering (A*B), 5- flowering and 15 days after flowering (B*C), 6- 15 days before flowering and 15 days after flowering (A*C) and 7- 15 days before flowering, flowering, 15 days after flowering (A*B*C).

Results and Discussion Regarding the mean comparison of traits, a calcium chloride foliar application on traits such as plant height, number of spikelet's per spike, grain yield per plant and harvest index were not significant ($P \leq 0.05$). The 1000 grain weight increased under different time traits of calcium chloride foliar application. The highest 1000 grain weight belonged to the calcium chloride foliar application during two weeks before flowering. Foliar application of calcium chloride at the flowering time as well as flowering and two weeks later increased the shoot dry weight. Grain weight per plant was increased in all treatments with calcium chloride except for foliar application at flowering and two weeks before and after flowering. The highest amount of grain weight per plant was obtained in the calcium chloride foliar application during two weeks before flowering and flowering, but no significant difference was observed with other treatments with calcium chloride.

Conclusions Looking at the research, the positive effects of the use of calcium chloride in some plants have been shown under stress conditions, but there is no consensus on the best time or best type of it. Induction of heat stress at the onset and during the flowering period by decreasing pollen and ovarian grain yields prevent fertility and thus decrease grain yield. On the other hand, when the plants were in the post-flowering stage and in the grain filling stage exposure to high temperatures, heat stress accelerates this stage and reduces the grain filling period, thus reduces yield. Under heat stress conditions, the use of calcium chloride improved some properties such as number of spikes per plant, seed weight per plant and 1000-grain weight, and the destructive effects of heat stress on the plant. According to the results of this study, application of 10 mM calcium chloride concentration two weeks before flowering is recommended to reduce the damaging effects of heat stress in wheat.

Keywords: 1000 grain weight, Flowering, Foliar application, Heat stress, Number of spikes per plant

1- PhD Student of Crop Physiology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: Majid.Nabipour1396@gmail.com)